

ГЕОМОРФОЛОГИЯ

РОССИЙСКАЯ
АКАДЕМИЯ
НАУК
МОСКВА



ЯНВАРЬ–МАРТ

ЖУРНАЛ ОСНОВАН
В 1970 ГОДУ
ВЫХОДИТ
4 РАЗА В ГОД

№ 1 – 2018

Журнал издается под руководством Отделения Наук о Земле РАН

СОДЕРЖАНИЕ

Зарецкая Н.Е. Голоценовая история дельты р. Северной Двины	3
Методика научных исследований	
Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К., Еременко Е.А. Геоморфологические подходы к оценке величины речного стока в геологическом прошлом (ст. 3. Анализ структуры сети водотоков)....	18
Научные сообщения	
Бабич Д.Б., Виноградова Н.Н., Иванов В.В., Коротаев В.Н., Чалова Е.Р. Типизация и динамика устьев рек, впадающих в водохранилища	33
Еникеев Ф.И. Четвертичный озерный морфолитогенез и формирование гидролакколитов (Южное Забайкалье)	45
Мысливец В.И., Бредихин А.В., Сафьянов Г.А., Рычагов Г.И., Игнатов Е.И., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д., Бадюкова Е.Н., Репкина Т.Ю., Шипилова Л.М., Селезнева Е.В. Проблемы прогноза развития морских берегов европейской России (ст. 2. Морфодинамика берегов и принципы прогноза их развития)	54
Петрищев В.П., Норейка С.Ю. Региональные особенности формирования солянокупольных морфоструктур.....	66
Рысин И.И., Голосов В.Н., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю. О причинах современного сокращения темпов роста оврагов в Удмуртии.....	75
Тарбеева А.М. О происхождении четковидной формы русел малых рек криолитозоны.....	88
Информация	
Вышла в свет книга “Тетрадь воспоминаний о профессоре Г.Ф. Уфимцеве”	95
История науки	
Чичагов В.П. Геоморфология в трудах Василия Васильевича Докучаева	96

GEOMORPHOLOGY

RUSSIAN
ACADEMY
OF SCIENCES
MOSCOW



QUARTERLY
FOUNDED 1970

JANUARY–MARCH

№ 1 – 2018

CONTENTS

Zaretskaya N.E. The Holocene history of the North Dvina river delta	3
Methods of research	
Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Borisova O.K., and Eremenko E.A. Geomorphological approach to the river runoff evaluation in the geological past (Paper 3. Drainage net structure analysis)	18
Short communications	
Babich D.b., Vinogradova N.N., Ivanov V.V., Korotayev V.N., and Chalova E.R. Types and dynamics of river mouths in reservoirs	33
Enikeev F.I. Quaternary lacustrine morpholithogenesis and development of hydrolaccolites (Southern Transbaikalia)	45
Myslivets V.I., Bredikhin A.V., Safyanov G.A., Rychagov G.I., Ignatov E.I., Zhindarev L.A., Lukianova S.A., Soloviova G.D., Badiukova E.N., Repkina T.Yu., Shipilova L.M., and Selezneva E.V. Approaches to forecasting the development of marine shores of the European Russia (Paper 2. Morphodynamic of marine shores and principles of forecast of their development)	54
Petrishchev V.P. and Noreika S.Yu. Formation of salt-dome morphostructures in different regional settings	66
Rysin I.I., Golosov V.N., Grigoryev I.I., and Zaitceva M.Yu. On the causes in the contemporary decline in the gully head retreat rates in Udmurtia	75
Tarbeeva A.M. On the origin of beaded river channels shape in the permafrost zone	88
Information	
“The book of memoirs about Professor G.F. Ufimtsev” is out	95
History of science	
Chichagov V.P. Geomorphology in the works of Vasily Vasilyevich Dokuchaev	96

О ПРИЧИНАХ СОВРЕМЕННОГО СОКРАЩЕНИЯ ТЕМПОВ РОСТА ОВРАГОВ В УДМУРТИИ

¹Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет, Москва, Россия

*E-mail: rysin.iwan@yandex.ru, **E-mail: gollossov@gmail.com

Поступила в редакцию 18.04.2016

Мониторинговые наблюдения за линейным приростом вершин оврагов, расположенных в различных частях Республики Удмуртия, охватывают практически весь период глобального потепления (1978–2014). Этот период делится на два примерно равных по продолжительности интервала (1978–1997 и 1998–2014 гг.), отличающиеся климатическими характеристиками, влияющими на сокращение темпов прироста вершин в различных регионах Удмуртии и в республике в целом. Среднегодовые темпы прироста сократились с 1.3 м/год до 0.3 м/год для периодов наблюдений 1978–1997 и 1998–2014 гг. соответственно. Наблюдения за приростом вершин, проводились дважды в год (после снеготаяния и осенью после завершения периода выпадения стокоформирующих дождей). На участках, расположенных на небольшом удалении от Ижевска, выявлены изменения в доли вклада талого и ливневого стока в прирост оврагов. До 1997 г. включительно 80% прироста вершин происходило в период снеготаяния. Доля вклада талого стока уменьшилась до 53% после 1997 г. Анализ собранных и обработанных данных по 6 метеорологическим станциям и 4 гидрологическим постам, расположенным вблизи ряда участков мониторинга, позволил выявить некоторые закономерности в изменении влияния различных гидроклиматических параметров на темпы прироста оврагов. Основной причиной сокращения темпов прироста вершин оврагов явилось снижение глубины промерзания почв, что привело к значительному уменьшению поверхностного стока. Возросшее влияние осадков ливневого характера более отчетливо проявилось на востоке и севере Вятско-Камского междуречья, тогда как на западе наблюдается более хорошая корреляционная связь темпов роста оврагов с глубиной промерзания почв. Наиболее значимый прирост оврагов в тёплое время года происходит при выпадении осадков с суточным слоем >40 мм.

Ключевые слова: рост оврагов, мониторинг, Удмуртская Республика, гидроклиматические параметры, пространственно-временной анализ.

DOI: 10.7868/S0435428118010078

ON THE CAUSES IN THE CONTEMPORARY DECLINE IN THE GULLY HEAD RETREAT RATES IN UDMURTIA

I.I. RYSIN^{1,2,*}, V.N. GOLOSOV^{2,3,**}, I.I. GRIGORYEV¹, AND M.YU. ZAITCEVA¹

¹Udmurt State University, Izhevsk, Russia

²Kazan Federal University, Kazan, Russia

³Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

*E-mail: rysin.iwan@yandex.ru, **E-mail: gollossov@gmail.com

Summary

Results of long-term monitoring of gully head retreat rates (GHRR) during almost the entire recent phase of global warming (1978–2014) in different parts of the Udmurt Republic are analysed. Assessment of the influence of different climatic parameters on GHRR in different parts of Udmurtiya and the whole territory in the two time intervals (1978–1997 and 1998–2014) is the main content of article. It was determined that GHRR decreased from 1.3 m yr⁻¹ in 1978–1997 to 0.3 m yr⁻¹ in 1998–2014. Based on the observation data that have been collecting nearby Izhevsk twice a year (after snow-melting and in autumn after period

of rain-storms events), some changes were found in the relative contribution of snow-melting and rainfall events to GHRR. Some 80% of gully head retreat was occurring during the snow-melt season in the period 1978–1997, and only 53% – after 1997. Increasing influence of the rain-fed runoff manifested more clearly in the eastern and northern parts of the Vyatka-Kamsa interfluvium, while in the West, higher correlation was found between GHRR and frozen soil depth in winter. The most significant increase of gully length occurs during the warm part of the year and is related to rains that produce daily precipitation layer of >40 mm.

Keywords: gully head retreat rate, monitoring, Udmurt Republic, hydro-climatic parameters, spatial-temporal analysis.

Введение

Формирование и развитие оврагов – многофакторный процесс, обусловленный различными сочетаниями консервативных (литология, рельеф) и динамичных (климат, антропогенное влияние) факторов. Совместное влияние последних определяет, наряду со стадией развития конкретного оврага, интенсивность его линейного роста [1–3]. Темпы роста оврагов во многом зависят от климатических характеристик и для большей части Европейской территории России, где, за исключением южных районов, на период до середины 1990-х гг. порядка 80% прироста вершин оврагов происходило в период весеннего снеготаяния [1, 4–9]. Наиболее достоверно эта величина была установлена для Удмуртской Республики (УР), так как она была получена на основе прямых многолетних измерений приростов более 40 вершин оврагов после снеготаяния и по окончании периода выпадения ливневых дождей [10, 11].

Последние десятилетия характеризуются значительными климатическими изменениями, которые в пределах Европейской территории России (ЕТР) и Западной Сибири выразились в существенном повышении температур воздуха и почвы в зимнее время [12, 13], что привело к общему снижению глубин промерзания почв в зимнее время, а также повторяемости зим с полностью талой почвой [14]. Данные изменения неизбежно отразились на формировании поверхностного стока в период весеннего снеготаяния, выразившиеся в резком снижении коэффициента поверхностного стока, начиная с 1990-х гг. в пределах Среднерусской возвышенности [15].

Климатические изменения последних десятилетий неизбежно должны были сказаться и на темпах эрозионных процессов, включая регрессивный рост оврагов. Но при этом следует учитывать и влияние антропогенного фактора, сказывающегося на формировании агрогенных оврагов, а именно забрасывании части пашни. При этом в отсутствие продолжительных рядов прямых наблюдений за отступанием вершин оврагов достаточно сложно определить фактический вклад изменений климата и забрасывания пашни в темпы овражной эрозии. В представленной работе проводится анализ влияния гидроклиматических факторов и изменений в землепользовании на темпы ежегодного прироста оврагов УР. Используются данные мониторинга в период 1998–2014 гг. 168 вершин оврагов, расположенных в различных районах республики и имеющих в основном распахиваемые водосборы.

Объект и методы исследования

На территории, в пределах которой находятся объекты мониторинговых наблюдений, расположенной на востоке Русской равнины в южной части Вятско-Камского междуречья в границах УР, распространены ландшафты южной тайги и подтаежной зоны, сильно преобразованные хозяйственной деятельностью. Междуречные пространства сложены лёссовидными делювиально-солифлюкционными суглинками, тогда как днища балок, прорезаемых донными оврагами – отложениями смытых с междуречных пространств наносов тяжелосуглинистого состава. Ряд придолинных оврагов формируются в верхнепермских глинах с прослоями более прочных пород (известняков, мергелей, аргиллитов, песчаников и т.п.).

Анализ распределения глубин местных базисов эрозии свидетельствует о резко дифференцированном характере вертикального расчленения территории. Своего максимума (127 м) она достигает вдоль правобережья р. Камы. В пределах Верхнекамской возвышенности, несмотря на большие значения абсолютных отметок ее поверхности (максимум 322.6 м), величина вертикального расчленения ниже, составляя в среднем около 80 м. Средняя глубина расчленения Кильмезской низменности – 67 м.

Для Вятско-Камского междуречья характерен умеренно теплый и влажный климат с продолжительной зимой и относительно коротким летом. Среднегодовая температура изменяется от $+2.3^{\circ}\text{C}$ на севере, до $+3.5^{\circ}\text{C}$ на юге. Средние температуры января и июля варьируют в пределах $-13.3 - -11.9^{\circ}\text{C}$, и $+18.3 - +19.7^{\circ}\text{C}$, соответственно, с выраженным трендом повышения зимних температур воздуха в зимние месяцы [16]. Устойчивый снежный покров держится 155–175 дней. Среднегодовая сумма осадков составляет 500–650 мм.

Начиная с 1978 г. нами проводится мониторинг линейного роста оврагов на 28 ключевых участках, расположенных в различных агроландшафтных условиях УР. Линейный прирост оврагов определялся путем измерения расстояния от вершины оврага до закрепленных реперов с точностью ± 0.01 м. Всего в систему мониторинга включено 168 оврагов. Из них на данный момент 56 вершин не имеют признаков роста в течение 10 и более лет, а 8 вершин оврагов прекратили свой рост в последние 5 лет. Для 36 вершин оврагов основная причина отсутствия роста – зарастание ранее распаханых водосборов многолетними травами и мелколесьем, 11 вершин засыпано грунтом вследствие противоэрозионных мероприятий или твердыми бытовыми отходами (несанкционированные свалки).

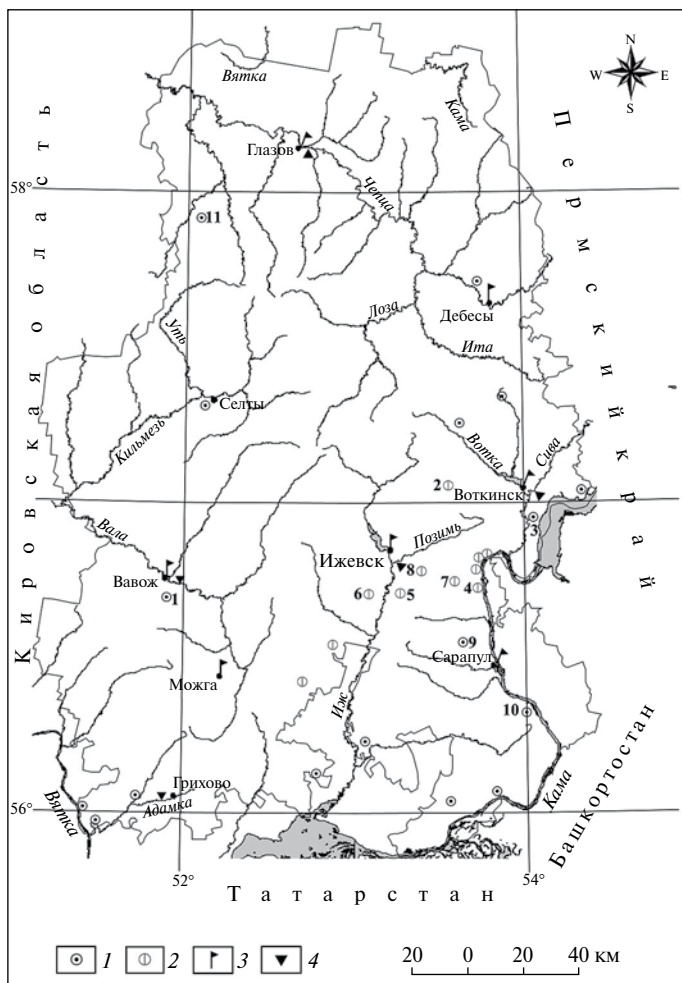


Рис. 1. Расположение участков мониторинга линейного прироста оврагов в пределах Вятско-Камского междуречья

Участки с ежегодными наблюдениями: 1 – в летний период, 2 – после снеготаяния и в осенний период; 3 – метеостанции; 4 – гидрологические посты.

Цифрами на карте указаны номера ключевых участков: 1 – Большое Волково (5 оврагов), 2 – Черная–Светлое (7 оврагов), 3 – Фертики (8 оврагов), 4 – Макарово (3 оврага), 5 – Мещеряки (2 оврага), 6 – Юськи (3 оврага), 7 – Забегалово (4 оврага), 8 – ст. Мартыново (1 овраг), 9 – Девятово (2 оврага), 10 – Мазунино (6 оврагов), 11 – Мулино (3 оврага)

17 оврагов исчерпали потенциал своего развития вследствие уменьшения площади водосбора или увеличения эрозионной устойчивости почвенно-растительного покрова водосборной площади. Для анализа влияния гидроклиматических характеристик на динамику линейного прироста оврагов в период 1998–2014 гг. используются результаты мониторинга 44 вершин оврагов, расположенных на 10 участках, в разных частях исследуемой территории, на относительно небольшом удалении (максимум 27 км) от метеостанций и гидропостов системы Росгидромета. На каждом из участков число вершин оврагов, за приростом которых проводятся наблюдения, колеблется от 1 до 8 (рис. 1). Наблюдения проводятся один раз в год (летом или осенью), а на пяти ключевых участках (13 оврагов) измерения осуществляются дважды: в мае, после снеготаяния и в октябре или начале ноября, после окончания сезона выпадения летне-осенних ливней.

Все овраги, входящие в сеть мониторинга разделяются на две группы: первичные и вторичные [17]. Первичные овраги нами разделены на три группы: приводораздельные, к которым отнесены все овраги, развивающиеся на склонах междуречных пространств, а также прибалочные и придолинные, которые различаются по месту своего развития на бортах балок и речных долин соответственно. К вторичным отнесены донные и вершинные овраги. Среди наблюдаемых оврагов преобладают первичные (58.9%), среди которых чуть меньше половины – приводораздельные. Среди вторичных агрогенных оврагов преобладают вершинные (62.3%).

На шести метеорологических станциях и четырех гидрологических постах, расположенных вблизи участков мониторинга (рис. 1) были получены следующие данные: а) максимальный суточный слой осадков в летние месяцы; б) сумма максимальных суточных осадков за летние месяцы; в) максимальные запасы воды в снеге; г) глубина промерзания почвы; д) продолжительность снеготаяния; е) максимальный расход воды в период весеннего половодья; ж) годовая норма стока воды, проходящая через измерительный створ (в л/сек). На основе этих данных рассчитаны: интенсивность снеготаяния, как производная от деления запасов воды в снеге на продолжительность снеготаяния, и интенсивность половодного стока, полученная по соотношению между максимальным расходом воды в период половодья и годовой нормой стока (Q_m/Q_n). Выбор указанных выше гидрометеорологических параметров основывался на предположении, что их изменения могут оказывать влияние на темпы роста оврагов в пределах Вятско-Камского междуречья в период весеннего снеготаяния или при выпадении стокоформирующих дождей.

Для всех выбранных гидрометеорологических показателей были рассчитаны корреляционные связи с ежегодными темпами роста оврагов на каждом из участков. Поскольку не всегда рассматриваемые зависимости являются прямолинейными, то, наряду с обычным коэффициентом корреляции (r), был вычислен дополнительный показатель – корреляционное отношение (η). Проверка гипотезы о форме связи между анализируемыми переменными осуществлялась с помощью критериев Блекмана (B) и Фишера (F) [18].

Результаты и их обсуждение

Обобщенный график среднегодовых темпов линейного прироста агрогенных оврагов получен на основе использования данных по всем оврагам, включенным в систему мониторинга (рис. 2). За весь период наблюдений 1978–2015 гг. отчетливо выделяются четыре пика с максимальными значениями, которые все относятся к первому циклу наблюдений 1978–1997 [10]: 1979 г. (2.8 м/год), 1990 и 1991 гг. (1.9 и 2.3 м/год) и в 1994 г. (1.8 м/год). Темпы отступления вершин оврагов в эти годы усилились. Это явилось следствием значительного склонового стока в период снеготаяния, что установлено на основе анализа максимальных расходов половодного стока рек, на водосборах которых, к тому же велика доля обрабатываемой пашни.

После 1997 г. среднегодовые темпы отступления вершин оврагов резко снизились и только в 1997, 1998 и 2001 гг. превышали значение 0.5 м/год (рис. 2). После 2003 г.

темпы роста снизились и остаются минимальными до настоящего времени. Следует учитывать, что во второй половине 1990-х – начале 2000-х гг. происходило сокращение площади обрабатываемых пахотных земель, затронувшее и ряд водосборов на участках наблюдений, что привело к стабилизации ряда оврагов, в том числе семь вершин оврагов, входящих в систему мониторинга. Таким образом, забрасывание пашни на водосборе оврага при современных климатических условиях постепенно ведет к полной остановке линейного роста оврага и его зарастанию в течение 8–10 лет. Аналогичная ситуация в Восточной Сибири отмечена Ю.В. Рыжовым [3].

Несколько более сложен механизм влияния климатических изменений. В первый цикл наблюдений (1978–1997 гг.) для всей территории была получена достаточно высокая корреляционная связь ($r = 0.77$) темпов роста оврагов и интенсивности половодного стока [10]. Поскольку интенсивность половодного стока на малых реках является функцией поверхностного склонового стока, то можно утверждать, что именно интенсивность талого стока в этот период определял темпы линейного роста оврагов. Это подтверждается и результатами прямых наблюдений за ростом оврагов на участках мониторинга около г. Ижевска, на которых измерения проводились дважды в год (весна–осень), которые показывают, что 80% прироста оврагов произошло весной в период талого стока.

Результаты аналогичных наблюдений в период 1998–2015 гг. показали, что весенний прирост оврагов составляет только 53% от суммарного за год. В этот же период возросла до 47% доля вклада ливневого стока в рост оврагов. Так как данные изменения соотношения вклада талого и ливневого стока произошли на фоне общего резкого снижения среднегодовых темпов прироста оврагов (до 0.38 м/год), на которых наблюдения проводились дважды в год, то фактически темпы роста оврагов в период снеготаяния очень сильно сократились. Но темпы роста оврагов в период выпадения ливневых дождей практически не изменились. Более того, наблюдается достаточно четкая связь между внутригодовой долей вклада талого стока и максимальным суточным слоем осадков теплого периода в конкретный год (рис. 3). Некоторым исключением был 2005 г., когда существенного сокращения доли талого стока не произошло, что в общем можно объяснить высокой вариабельностью ливней по площади.

Следует учитывать, что, несмотря на то, что все овраги, включенные в систему мониторинга, являются агрогенными и доминирующая часть их водосборов распахивается, существуют и некоторые местные особенности, связанные с некоторыми различиями в стадиях развития оврагов, размываемых породах и соотношениях между первичными и вторичными оврагами. Это, несомненно, сказывается на особенностях их роста.

Ни для одного из используемых для анализа гидрометеорологических показателей не обнаружено тесной связи с темпами ежегодного роста всех оврагов, входящих в выборку.

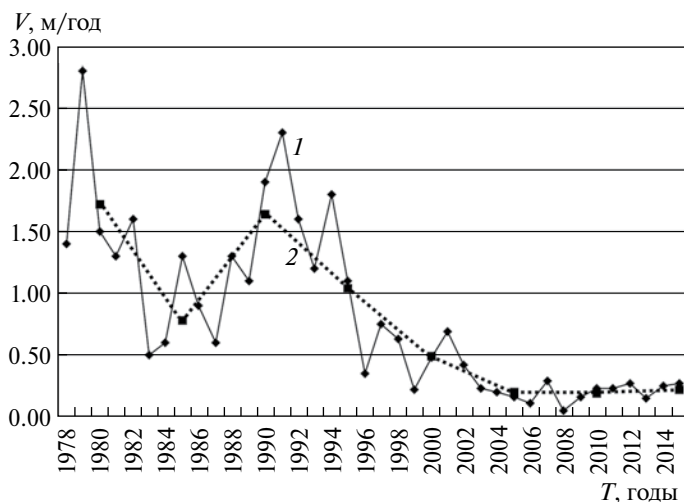


Рис. 2. Динамика прироста агрогенных оврагов на территории Удмуртской Республики по данным полустационарных наблюдений за 1978–2015 гг. (1) и их осредненные значения по пятилетиям (2)

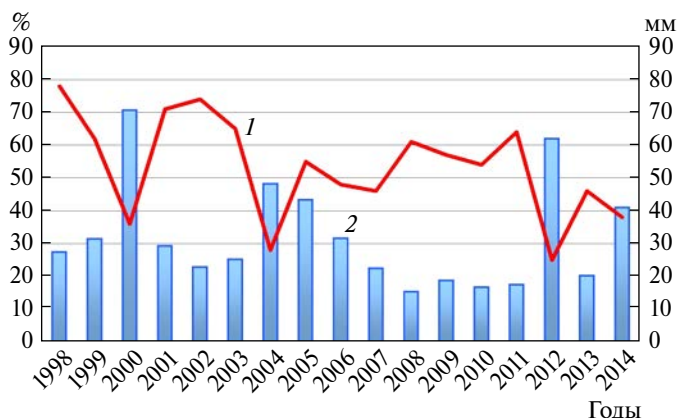


Рис. 3. Соотношение долевого вклада талого стока в ежегодный прирост оврагов (1) и максимального слоя суточных осадков теплого периода года (2) на ключевых участках 4–8 у г. Ижевска

Это говорит о том, что талый сток действительно перестал играть доминирующую роль в линейном росте оврагов, как это наблюдалось в период мониторинга 1978–1997 гг. Тем не менее, для отдельных участков, а также отдельных типов оврагов удалось выявить достаточно отчетливое влияние ряда гидрометеорологических показателей. Сразу же следует оговориться, что само по себе наличие подобной связи может в ряде случаев носить и случайный характер, так как метеостан-

ции и гидропосты расположены на некотором удалении от участков наблюдений за ростом оврагов. Поэтому фактические значения метеорологических показателей на водосборах оврагов несколько отличаются от зафиксированных на объектах Росгидромета.

За предыдущий период (1978–1997 гг.) темпы роста оврагов на ключевых участках в районе г. Ижевска обнаружили высокую положительную связь с интенсивностью половодного стока ($r = 0.73$), слабые положительные связи с запасами воды в снеге ($r = 0.52$) и интенсивностью снеготаяния ($r = 0.45$) [10].

Анализ данных наблюдений за период 1998–2015 гг. показывает, что среднегодовые темпы роста 13 оврагов у г. Ижевска за 17-летний период изменяются в незначительных пределах. Максимальный прирост оврагов по анализируемым участкам наблюдался в 2002 г. (1.8 м/год), когда отмечались интенсивный половодный сток на р. Позимь и наиболее интенсивное снеготаяние. В годы же с максимальной интенсивностью половодного стока (2012 г.) и снеготаяния (1998 г.) скорость роста оврагов была невысокой. Минимальные скорости роста оврагов зафиксированы в 2006 и 2008 гг. (< 0.1 м/год). Эти годы отличались низкой интенсивностью половодного стока и снеготаяния, а также малой глубиной промерзания почв, что способствовало очень низкому поверхностному стоку весной. Сопоставление ежегодных темпов роста оврагов с гидрометеорологическими характеристиками за анализируемый период выявляет только незначительную связь с интенсивностью снеготаяния ($r = 0.32$, $\eta = 0.57$). С остальными параметрами корреляционная связь не выявлена (таблица).

На ключевом участке Бол. Волково (рис. 1) в период мониторинга 1978–1997 гг. в годы с интенсивным половодным стоком (1991, 1979 гг.) средние темпы роста оврагов достигали 4.8 и 6.6 м/год соответственно. В годы с низким поверхностным стоком, часто совпадающим с малоснежными зимами (1984, 1980 гг.), активность роста оврагов резко снижалась (0.7 и 1.1 м/год). Связь между темпами роста оврагов и интенсивностью половодного стока проявлялась отчетливо ($r = 0.886$). В период 1998–2014 гг. наибольшие темпы роста оврагов снизились до 2 м/год и менее. Они наблюдались в 2009 (1.53 м/год), 1998 (1.37 м/год) и в 2010 (1.36 м/год) гг. Минимальные скорости роста оврагов отмечены в 2005 и 2008 гг. (0.07 м/год), когда наблюдались низкие показатели интенсивности половодного стока и снеготаяния, а неглубокое промерзание почвы привело к очень низкому поверхностному стоку весной. Для данного участка установлена достаточно тесная связь активности оврагообразования с глубиной промерзания почвы ($r = 0.68$, $\eta = 0.76$) (рис. 4а), что подтверждает ранее высказанные предположения об уменьшении половодного стока вследствие частой повторяемости теплых зим и слабого промерзания почв [10, 11, 19].

Коэффициенты корреляции (r), коэффициенты детерминации (η^2) и корреляционные отношения (η) скоростей роста оврагов и гидрометеорологических показателей по ключевым участкам УР за 1998–2014 г.

Гидрометеорологические показатели и коэффициенты связи		Ключевые участки				
		Девятово – Мазунино	Большое Волково	Черная – Светлое – Фертики	Ключевые участки 4–8 у Ижевска	Муллино
Qm/Qn	r	0.4651	–0.2717	0.3038	0.2332	0.3665
	η^2	0.3396	0.4067	0.6207	0.2289	0.1967
	η	0.5828	0.6378	0.7878	0.4784	0.4435
T	r	0.0647	0.0127	0.6842	–0.1065	0.0131
	η^2	0.1681	0.4798	0.3189	0.2220	0.1086
	η	0.4100	0.6926	0.5647	0.4712	0.3295
Нв	r	0.3648	0.0261	–0.1013	0.0500	0.1465
	η^2	0.2082	0.1042	0.1558	0.3122	0.4130
	η	0.4563	0.3228	0.3947	0.5594	0.6426
Нв/Т	r	0.4202	0.2663	–0.2259	0.3211	0.0170
	η^2	0.3313	0.1656	0.1175	0.1725	0.0524
	η	0.5756	0.4070	0.3431	0.4154	0.2290
Мп	r	–0.3522	0.6819	–0.1977	0.1430	0.0999
	η^2	0.3162	0.5740	0.1839	0.1663	0.1129
	η	0.5623	0.7577	0.4288	0.4078	0.3360
R	r	0.2613	–0.3246	0.5626	0.0730	0.3241
	η^2	0.1232	0.2819	0.0942	0.2274	0.3010
	η	0.3510	0.5310	0.3069	0.4769	0.5486
Rw	r	0.2625	–0.4631	0.3007	0.0141	0.3555
	η^2	0.1770	0.3029	0.2223	0.1082	0.2297
	η	0.4207	0.5503	0.4715	0.3289	0.4792
Rs	r	0.1922	–0.5359	–0.0398	–0.1384	0.4510
	η^2	0.2765	0.5435	0.2289	0.2427	0.2644
	η	0.5258	0.7372	0.4784	0.4926	0.5142
Rd	r	–0.0096	0.2077	0.0352	–0.1374	0.5569
	η^2	0.1381	0.2249	0.4422	0.2349	0.4462
	η	0.3716	0.4742	0.6650	0.4846	0.6680
Rs _{max}	r	0.0995	–0.1260	0.4780	–0.0266	0.5461
	η^2	0.1441	0.2137	0.2498	0.0919	0.4603
	η	0.3796	0.4622	0.4998	0.3032	0.6784
Rw _{max}	r	–0.0685	–0.3933	0.4274	–0.1046	0.6350
	η^2	0.4108	0.2179	0.3775	0.2901	0.3923
	η	0.6409	0.4668	0.6145	0.5386	0.6263

Примечание. Qm/Qn – интенсивность половодного стока, Т – продолжительность снеготаяния, Нв – максимальные запасы воды в снеге, Нв/Т – интенсивность снеготаяния, Мп – максимальная глубина промерзания почвы, R – сумма осадков, Rw – сумма осадков теплого периода (апрель – октябрь), Rs – сумма осадков летних месяцев, Rd – максимальное суточное количество осадков по летним месяцам, Rs_{max} – сумма максимальных суточных осадков по летним месяцам, Rw_{max} – сумма максимальных суточных осадков теплого периода (апрель – октябрь).

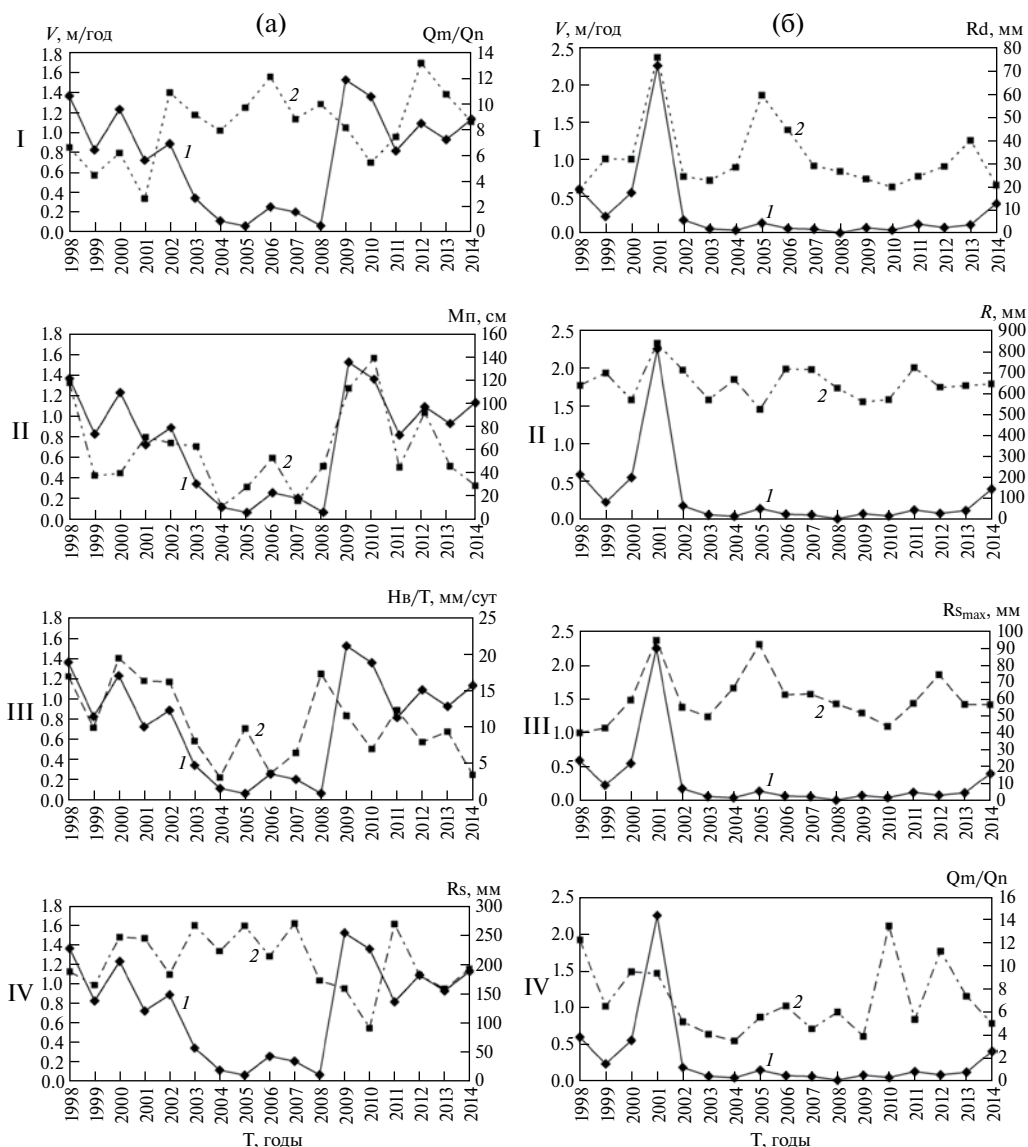


Рис. 4. Динамика прироста оврагов и гидрометеорологические показатели за период 1998–2014 гг. на территории ключевых участков

(а) – Большое Волково: I – интенсивность половодного стока на р. Вала (Q_m/Q_n), II – максимальная глубина промерзания почв (M_p , см), III – интенсивность снеготаяния (H_b/T , мм/сут.), IV – сумма осадков летних месяцев (R_s , мм).

(б) – Черная – Светлое – Фертики: I – максимальное суточное количество осадков за летние месяцы (R_d , мм), II – годовая сумма осадков (R , мм), III – сумма максимальных суточных осадков за летние месяцы ($R_{s_{max}}$, мм), IV – интенсивность половодного стока на р. Чепца (Q_m/Q_n).

(в) – Муллино: I – сумма максимальных суточных осадков за теплый период года ($R_{w_{max}}$, мм), II – максимальное суточное количество осадков за летние месяцы (R_d , мм), III – сумма максимальных суточных осадков за летние месяцы ($R_{s_{max}}$, мм), IV – интенсивность половодного стока на р. Чепца (Q_m/Q_n).

(г) – Девятово – Мазунино: I – интенсивность половодного стока на р. Адамка (Q_m/Q_n), II – максимальные запасы воды в снеге (H_b , мм), III – интенсивность снеготаяния (H_b/T , мм/сут.), IV – сумма осадков теплового периода года (R_w , мм).

I – скорость прироста оврагов (V , м/год), 2 – гидрометеорологический показатель

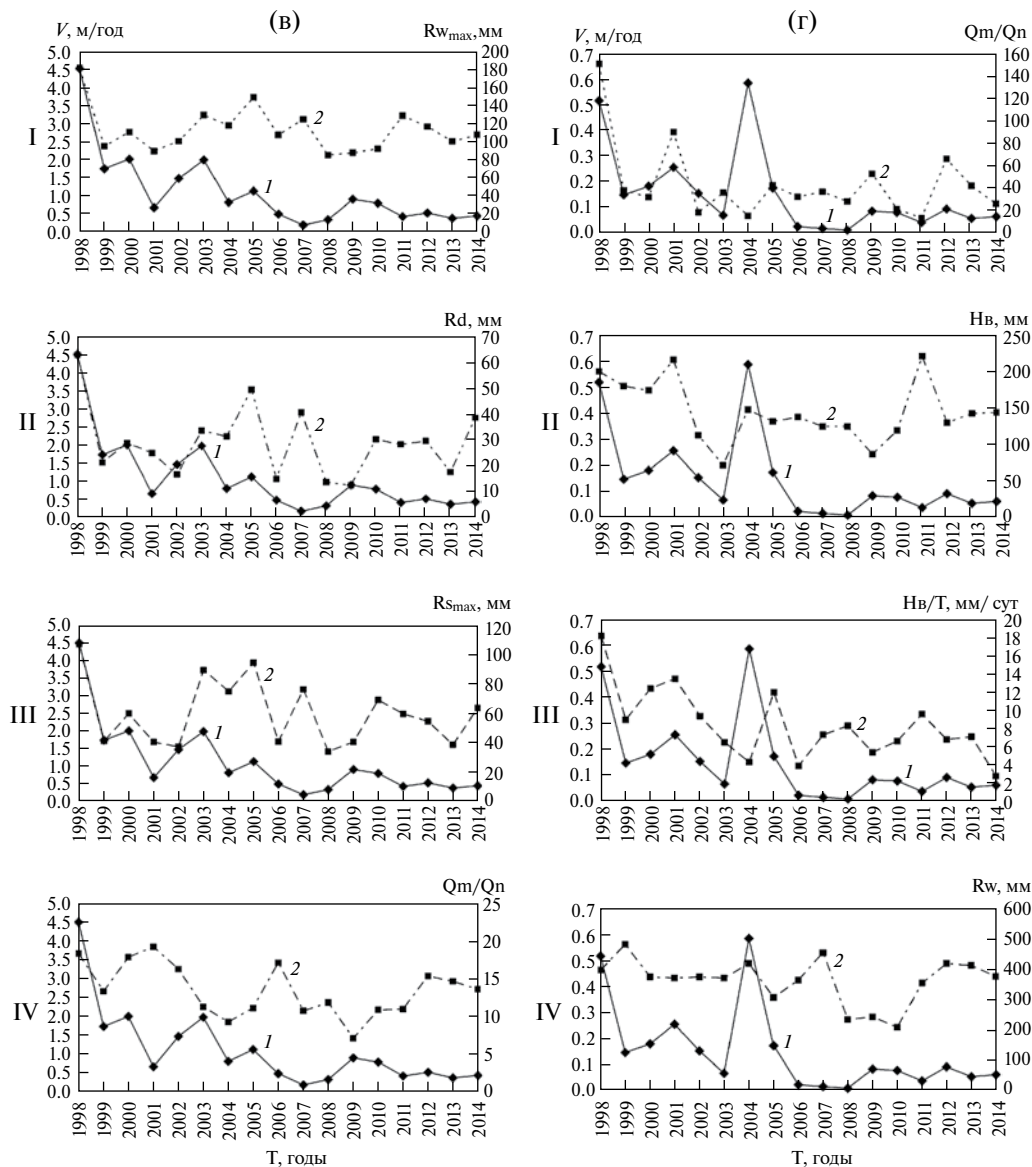


Рис. 4 (окончание)

Овраги ключевых участков Девятово и Мазунино расположены в Сарапульском районе Удмуртии (рис. 1), они в большинстве случаев размывают прочные коренные породы и находятся на последних стадиях развития. Как и за предыдущий цикл наблюдений, они характеризуются сравнительно медленным ростом. В период с 1978 по 1997 гг. связь скорости роста оврагов с интенсивностью половодного стока на р. Большая Сарапулка и с запасами воды в снеге была положительной ($r = 0.67$ и 0.67 , соответственно). В рассматриваемый период обнаружена слабая положительная связь годового прироста оврагов лишь с интенсивностью половодного стока на р. Адамка ($r = 0.47$, $\eta = 0.62$) и интенсивностью снеготаяния ($r = 0.42$, $\eta = 0.58$). Невысокая связь объясняется относительно малыми величинами темпов роста оврагов. Так, годовой прирост, превышающий 0.5 м/год, наблюдался только в двух случаях: в 1998 и 2004 гг. При этом в 1998 г.

отмечалась максимальная интенсивность половодного стока, когда максимальные расходы половодья превышали норму в 150 раз. Высокие запасы воды в снеге и короткий период снеготаяния обеспечили в тот год и максимальную интенсивность снеготаяния (18.2 мм/сут.). Таких высоких показателей не было зафиксировано даже в 1979 г. Невысокий прирост оврагов в этом году можно объяснить только неглубоким промерзанием почвы, что привело к существенному уменьшению поверхностного стока, прочностью размываемых пород и последней стадией развития самих оврагов. Самые низкие значения годового прироста оврагов наблюдались в 2008 и 2007 гг. (0.01 и 0.02 м/год). В эти годы отмечены низкие значения интенсивности половодного стока и снеготаяния, а также неглубокое промерзание почв зимой (рис. 4г).

Наблюдения за ростом оврагов на ключевом участке Черная—Светлое ведутся с 1978 г., а в окрестностях дер. Фертики — с 1993 г. (рис. 1). Анализ их скоростей роста в зависимости от гидрометеорологических факторов проводится впервые. Обнаружена существенная положительная связь между темпами роста оврагов за анализируемый период и годовой суммой осадков ($r = 0.56$, $\eta = 0.64$). Максимальный прирост оврагов наблюдался в 2001 г. (2.26 м/год), когда годовая сумма осадков составила 839 мм, а летние месяцы характеризовались аномально интенсивными ливнями. Положительная связь выявлена также с суммой максимальных суточных осадков за летние месяцы ($r = 0.48$, $\eta = 0.50$) и суммой максимальных суточных осадков теплого периода ($r = 0.43$, $\eta = 0.61$). Анализ метеорологических показателей весеннего периода за 13 и 14 лет обнаружил значительную положительную связь только с продолжительностью снеготаяния ($r = 0.68$, $\eta = 0.90$), что можно объяснить лишь тем, что рост оврагов за рассматриваемый период во многом зависел от повторяемости стокоформирующих ливней. Зависимость годового прироста оврагов от интенсивности половодного стока оказалась также несущественной ($r = 0.30$, $\eta = 0.79$) (рис. 4б, таблица), поскольку в 2001 г. максимальные расходы половодья на р. Сива не были высокими, возможно это связано с низкой глубиной промерзания почв и низкой интенсивностью снеготаяния.

Наименьшие показатели роста оврагов наблюдались в 2008 (0.02 м/год) и в 2004 (0.05 м/год) гг., когда интенсивность половодного стока варьировала в пределах 6.0 и 3.5, соответственно. Интенсивность снеготаяния в эти годы также была сравнительно низкой (14.3 и 5.5 мм/сут.), а глубина промерзания почвы варьировала в пределах 35 и 11 см, соответственно. Метеорологические показатели летнего периода также были ниже среднемноголетних значений.

Отдельно проведенное сопоставление гидрометеорологических параметров и темпов ежегодного прироста девяти вторичных оврагов, активно растущих на участках у Воткинска, показал менее значимые связи с показателями летнего периода и более высокие с интенсивностью половодного стока ($r = 0.35$, $\eta = 0.85$). Из показателей летнего периода наиболее высокая величина связи оказалась с максимальным суточным количеством осадков за летние месяцы ($r = 0.52$, $\eta = 0.67$). Как и в первом случае, высокая связь отмечена и с продолжительностью снеготаяния (таблица).

Наблюдения за прибалочным и двумя донными оврагами на ключевом участке Мулино (рис. 1) ведутся с 1992 г. Как и в предыдущем случае, анализ их скоростей развития в зависимости от гидрометеорологических показателей проводится впервые. При этом обнаружена существенная положительная связь между скоростью роста оврагов и суммой максимальных суточных осадков за теплый период ($r = 0.64$, $\eta = 0.70$), а также с суммой максимальных суточных осадков за летний период ($r = 0.55$, $\eta = 0.68$) и максимальным суточным количеством осадков за летние месяцы ($r = 0.56$, $\eta = 0.67$). Связь годового прироста оврагов с суммами летних осадков ($r = 0.45$, $\eta = 0.51$), теплого периода ($r = 0.36$, $\eta = 0.54$) и за год ($r = 0.32$, $\eta = 0.69$) оказалась несущественной. Незначительной оказалась и связь с интенсивностью половодного стока ($r = 0.37$, $\eta = 0.47$) (рис. 4в, таблица).

При исключении из анализа нерастущего с 2004 г. прибалочного оврага, ранее полученные связи также подтвердились, но их значения немного снизились (таблица).

Наиболее интенсивный рост оврагов был отмечен в 1998, 2000 и 2003 гг., которые характеризовались выпадением осадков ливневого характера. Наименьшие скорости роста оврагов наблюдались в 2007 и 2008 гг., когда аномально интенсивные ливни не выпадали. В указанные годы интенсивность половодного стока и снеготаяния были не высокими, глубина промерзания почв также была незначительной.

Поскольку развитие оврага определяется большим количеством факторов и во многом зависит от их типа и стадии развития, нами проведен анализ влияния выше указанных гидрометеорологических показателей на рост отдельных типов оврагов на ключевых участках. В отдельных случаях были выявлены определенные зависимости.

Так, на ключевом участке Мазунино (рис. 1) темпы роста прибалочных оврагов хорошо коррелируют с интенсивностью снеготаяния ($r = 0.77$, $\eta = 0.93$), а также в меньшей степени с максимальными запасами воды в снеге ($r = 0.58$, $\eta = 0.78$) и интенсивностью половодного стока ($r = 0.64$, $\eta = 0.76$). На ключевом участке Черная—Светлое (рис. 1) интенсивность линейного прироста пяти донных оврагов хорошо коррелирует с продолжительностью снеготаяния ($r = 0.84$, $\eta = 0.88$). Развитие трех вершинных ($r = 0.52$, $\eta = 0.54$) и одного приводораздельного ($r = 0.65$, $\eta = 0.75$) оврагов на ключевом участке Фертики в определенной степени связано с максимальным суточным количеством летних осадков. Похожая связь обнаруживается между интенсивностью снеготаяния ($r = 0.58$, $\eta = 0.59$) для приводораздельного оврага и годовой суммой осадков ($r = 0.53$, $\eta = 0.74$) для вершинных оврагов. Рост донных оврагов на ключевом участке Муллино в равной степени связан с рядом по сути взаимодополняющих друг друга характеристик осадков теплого времени года, а именно с суммой максимальных суточных осадков теплого периода ($r = 0.55$, $\eta = 0.72$) и суммой максимальных суточных осадков летних месяцев ($r = 0.51$, $\eta = 0.71$).

Выводы

На основе анализа результатов мониторинга линейного роста оврагов и данных гидрометеорологических наблюдений в различных частях Вятско-Камского междуречья установлено, что резкое сокращение темпов роста оврагов с 1.3 м/год в 1978—1997 до 0.3 м/год в 1998—2014 гг. обусловлено (наряду с забрасыванием пахотных земель, которое привело к полному прекращению развития оврагов и их стабилизации) существенным уменьшением поверхностного стока в период весеннего снеготаяния.

Результаты прямых наблюдений за сезонным (периоды снеготаяния и летне-осенние стокоформирующие ливни) ростом агрогенных оврагов различного типа на востоке Вятско-Камского междуречья подтверждают, что снижение темпов роста связано со значимым их падением в период весеннего снеготаяния. Долевой вклад весеннего стока в рост оврагов снизился с 80% в период 1978—1997 до 53% в 1998—2014 гг. При этом абсолютный среднегодовой прирост оврагов за теплое время года по существу не изменился.

Анализ зависимости роста оврагов от гидрометеорологических факторов показал, что по сравнению с периодом 1978—1997 гг. существенно возросла роль экстремальных ливневых осадков, что наиболее характерно для ключевых участков в восточных и северных районах Вятско-Камского междуречья. В частности, максимальный вклад ливневого стока в линейный прирост оврагов на участках, расположенных рядом с Ижевском, отмечен именно в годы с выпадением дождей с суточным слоем свыше 40 мм.

В юго-западной части Удмуртии (уч. Большое Волково) в большей степени обнаружилась связь роста оврагов с изменениями глубины промерзания почв. В тоже время ранее (в период наблюдений 1978—1997 гг.) четко выраженная связь ежегодного прироста оврагов и интенсивности половодного стока хотя и проявляется практически повсеместно, но стала гораздо менее устойчивой.

Гидрометеорологические факторы по-разному влияют на отдельные типы оврагов в пределах различных частей исследованной территории. При отсутствии какой-либо четкой зависимости между конкретным типом оврагов и одним из гидрометеорологических

факторов, в большей степени дублируются зависимости, выявленные для различных регионов республики, проявляющиеся для каждого из типов оврагов с большей или меньшей выраженностью.

Благодарность. Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РНФ № 15-17-20006.

Acknowledgements. The research was financially support be RSF, project No. 15-17-20006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овражная эрозия востока Русской равнины / Дедков А.П. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. 142 с.
2. Баженова О.И., Любцова Е.М., Рыжов Ю.В., Макаров С.А. Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1997. 208 с.
3. Рыжов Ю.В. Пространственно-временные закономерности формирования и развития оврагов на юге Восточной Сибири: Автореф. дис ... докт. геогр. наук. Томск: Нац. исслед. Томский гос. ун-т 2013. 32 с.
4. Проничева М.В. О скоростях роста оврагов Среднерусской возвышенности // Тр. ИГ АН СССР / Мат-лы по геоморфологии и палеогеографии. 1955. Т. 65. Вып. 14. С. 87–111.
5. Коротина Н.М. Скорость роста оврагов в Ульяновском Поволжье // Геоморфология. 1981. № 4. С. 78–83.
6. Миронова Е.А., Сетунская Л.Е. Некоторые результаты изучения интенсивности роста оврагов на Приволжской возвышенности // Геоморфология. 1974. № 3. С. 74–82.
7. Назаров Н.Н. Овражная эрозия в Прикамье. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 1992. 103 с.
8. География овражной эрозии / Под ред. Е.Ф. Зориной. М.: Изд-во МГУ, 2006. 324 с.
9. Овражная эрозия / Под ред. Р.С. Чалова. М.: Изд-во МГУ, 1989. 168 с.
10. Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.
11. Рысин И.И., Григорьев И.И. Влияние гидрометеорологических факторов на рост оврагов в Удмуртии // Вестник Удмурт. ун-та. Серия Биология. Науки о Земле, 2010. Вып. 4. С. 137–146.
12. Шерстюков А.Б. Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха и высотой снежного покрова на территории России // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 1. С. 79–87.
13. Park H., Sherstiukov A., Fedorov A., Polyakov I. and Walsh J. An observation-based assessment of the influences of air temperature and snow depth on soil temperature in Russia // Environmental Research Letters. 2014. Vol. 9. No. 6. 064026 (7 p.).
14. Голосов В.Н., Геннадиев А.Н., Олсон К.Р., Маркелов М.В., Жидкин А.П., Чендев Ю.Г., Ковач Р.Г. Пространственно-временные особенности развития почвенно-эрозионных процессов в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2011. № 7. С. 861–869.
15. Petelko A.I., Golosov V.N., and Belyaev V.R. Experience of design of system of counter-erosion measures // Proceedings of the 10th international symposium on river sedimentation. 2007. Vol. 1. P. 311–316.
16. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Важнова Н.А. Пространственно-временные изменения основных показателей температурно-влажностного режима в Приволжском федеральном округе // Метеорология и гидрология. 2014. № 10. С. 19–31.
17. Соболев С.С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. Т. 1. 305 с.
18. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
19. Рысин И.И., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю., Голосов В.Н. Динамика линейного прироста оврагов Вятско-Камского междуречья на рубеже столетий // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2017. № 1. С. 63–72.

REFERENCES

1. *Ovrazhnaya eroziya vostoka Russkoj ravniny* (Gully Erosion in the east part of the Russian Plain). Dedkov A.P. Ed. Kazan: Izd-vo Kazan. Un-ta (Publ.), 1990. 142 p.
2. Bazhenova O.I., Lyubcova E.M., Ryzhov Yu.V. and Makarov S.A. *Prostranstvenno-vremennoj analiz dinamiki erozionnyh processov na juge Vostochnoj Sibiri* (Spatiotemporal analysis of the dynamics of erosion processes in the south part of the Eastern Siberia). Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1997. 208 p.

3. Ryzhov Yu. V. *Prostranstvenno-vremennye zakonomernosti formirovaniya i razvitiya ovragov na juge Vostochnoj Sibiri* (Spatiotemporal patterns of the formation and development of gullies in the Southern East Siberia): Doctor of Science thesis. Tomsk. 2013. 32 p.
4. Pronicheva M.V. About growth rates of gullies of the Central Russian Upland. *Tr. IGAN SSSR. Mater. Geomor. Paleogeogr.* 1955. Vol. 65. No. 14. P. 87–111. (in Russ.)
5. Korotina N.M. The growth rate of gullies in Ulyanovsk Volga Region. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1981. No. 4. P. 78–83. (in Russ.)
6. Mironova E.A. and Setunskaya L.E. Some results of the study of gully growth intensity on the Privolzhskaya Upland. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1974. No. 3. P. 74–82. (in Russ.)
7. Nazarov N.N. *Ovrazhnaya eroziya v Prikam'e* (Gully erosion in the Kama region). Perm: Izd-vo Perm Un-ta (Publ.), 1992. 103 p.
8. *Geografija ovrazhnoj erozii* (Geography of gully erosion). E.F. Zorina. Ed. Moscow: Izd-vo MGU (Publ.), 2006. 324 p.
9. *Ovrazhnaya eroziya* (Gully erosion). R.S. Chalov. Ed. Moscow: Izd-vo MGU (Publ.), 1989. 168 p.
10. Rysin I.I. *Ovrazhnaya eroziya v Udmurtii* (Gully erosion in Udmurtia). Izhevsk: UdGU (Publ.), 1998. 274 p.
11. Rysin I.I. and Grigor'ev I.I. The influence of hydrometeorological agents on the ravine growth in Udmurtia. *Vestn. Udmurt Univ. Ser. Biol. Nauki o Zemle*. 2010. No. 4. p. 137–146. (in Russ.)
12. Sherstjukov A.B. Correlation of soil temperature with air temperature and snow cover depth in Russia. *Kriosfera Zemli*. 2008. Vol. XII. No. 1. p. 79–87. (in Russ.)
13. Park H., Sherstjukov A., Fedorov A., Polyakov I. and Walsh J. An observation-based assessment of the influences of air temperature and snow depth on soil temperature in Russia. *Environmental Research Letters*. 2014. Vol. 9. No. 6. 064026 (7 p.).
14. Golosov V.N., Gennadiev A.N., Olson K.R., Markelov M.V., Zhidkin A.P., Chendev Ju.G., and Kovach R.G. Spatial and temporal features of soil erosion in the forest-steppe zone of the East-European Plain. *Pochvovedenie*. 2011. No. 7. p. 861–869. (in Russ.)
15. Petelko A.I., Golosov V.N., and Belyaev V.R. Experience of design of system of counter-erosion measures. *Proc. 10th Int. Symp. on River sediment*. 2007. Vol. 1. P. 311–316.
16. Perevedencev Ju.P., Shantalinskij K.M., and Vazhnova N.A. Spatiotemporal Variations of Major Parameters of Temperature and Humidity Regime in the Volga Federal District. *Meteorol. Gidrol.* 2014. No. 10. p. 19–31. (in Russ.)
17. Sobolev S.S. *Razvitie erozionnyh processov na territorii evropejskoj chasti SSSR i bor'ba s nimi* (Development of erosion processes in the USSR European part and their control). M.-L.: Izd-vo AN SSSR (Publ.), 1948. Vol. 1. 305 p.
18. Lakin G.F. *Biometrija* (Biometrics). Moscow: Vysshaya shkola (Pbl.), 1990. 352 p.
19. Rysin I.I., Grigor'ev I.I., Zaytseva M. Ju. and Golosov V.N. Dynamic of linear retreat of gully head within Vyatsko-Kamskoe interfluvium on turn of the centuries. *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 5. Geogr.* 2017. No. 1. P. 63–72. (in Russ.)